

# 单晶硅太阳能电池硅与电极间的欧姆接触\*

谭富彬 赵玲 陈亮维 蔡云卓 黄富春 李茜 (昆明贵金属研究所, 中国昆明 650221)

## Ohmic Contact between Monocrystalline Silicon and Electrode in Solar Cell

Tan Fubin, Zhao Ling, Chen Liangwei, Cai Yunzhuo, Huang Fuchun, Li Qian

(Kunming Institute of Precious Metals, Kunming 650221, China)

**Abstract:** The sintering process between monocrystalline silicon and silver paster or aluminium paster or silver - aluminium paster was observed and analyzed by metallography, X-ray diffraction and differential thermal analysis. The results show that alloys have formed between them, the Schottky Barriers has eliminated and the Ohmic contact has established between silicon and electrode.

**Keywords:** Monocrystalline silicon; Solar cell; Silicon; Electrode; Ohmic contact

**摘要:** 通过样品横断面金相观察, TG-DTA及X-射线衍射分析, 证明单晶硅与银浆、铝浆(银铝浆)在烧结过程中形成合金, 消除硅与电极间的肖特基势垒, 使电极与硅形成欧姆接触。

**关键词:** 单晶硅; 太阳能电池; 硅; 电极; 欧姆接触

**中图分类号:** TM615 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2001)01-0012-05

太阳能是取之不尽, 无污染、无噪音的新能源。随工业发展及人类活动的增加, 地下矿物能源日趋短缺, 开发、利用太阳能已是当务之急。太阳能电池是开发、利用太阳能的手段之一, 它是直接将太阳能变成电能的半导体器件, 然后组装成不同电压、电流和功率的装置, 从而使人们获得新能源。电池可以用于空间技术、兵站、航标及其他缺电无电的边远地区。电池的电极引出线通过蒸镀、化学镀、压结、印刷烧结的方法获得。不管那种方法, 要消除电极与硅间的肖特基势垒, 形成欧姆接触。本文重点讨论用厚膜工艺印刷、烧结后与硅生成合金, 使电极与硅形成欧姆接触<sup>[1]</sup>。电池栅极(受光面)是掺杂了其他元素的银电极, 背场电极(背阳面)用铝电极及银铝电极。作者通过电极与硅形成合金, 从而使硅与电极间消除了肖特基势垒, 实现欧姆接触。这样拓宽了厚膜浆料的应用范围(即印刷在导电基片上), 也提高了硅太阳能电池的生产效率<sup>[2]</sup>。

## 1 实验

**1.1 银电极的制备:** 选用粒度  $0.2\mu\text{m}$  的银粉, 掺杂少量过渡族或  $\text{p}$ 、 $\text{d}$  族元素, 按比例加入玻璃粉, 再用乙基纤维素松油醇配成厚膜浆料, 丝网漏印在单晶硅片上, 烘干、在  $700^\circ\text{C}$  左右烧结后得硅太阳能电池受光面栅极, 呈欧姆接触, 用铅锡浆载流焊得引出线。

\* 收稿日期: 1999-10-11 基金项目: 云南省科委应用基础研究资助项目 (1993-06)

1.2 铝电极的制备：将粒度  $10\mu\text{m}$  的铝粉，按比例加入玻璃粉，再加入乙基纤维素松油醇制成浆料。然后经印刷、烘干， $650^\circ\text{C}$  左右烧结后得硅太阳能电池背场电极，呈欧姆接触。

1.3 银铝电极的制备：选择粒度  $10\mu\text{m}$  的铝粉，按比例与粒度  $0.2\mu\text{m}$  的银粉混合，加入玻璃粉，再用乙基纤维素松油醇混合得浆料。然后丝网漏印、烘干在硅片上，经  $650^\circ\text{C}$  左右烧结得背场银铝电极，呈欧姆接触，用铅锡浆载流焊得引出线。

1.4 金相样品的制备：将已烧结的 Ag - Si、AgAl - Si、Al - Si 片放在镶样粉中，加热压结成块，经金相制样，然后用 MeF<sub>2</sub> 万能金相显微镜，在明场条件观察其界面。

1.5 TG- DTA 实验：将印刷烘干未烧结的 Ag - Si、AgAl - Si、Al - Si 电极，在 Thermofler TG- DTA 上进行升温测定，加热速度  $10\text{K}/\text{min}$ ，热重灵敏度为  $2\text{mg}$  满刻度，差热灵敏度  $\pm 50\mu\text{V}$  满刻度，图速  $2.5\text{mm}/\text{min}$ ，气氛为静态空气。3 种电极测试用量分别为  $14.6\text{mg}$ 、 $18.4\text{mg}$ 、 $18.5\text{mg}$ ，参比物  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粉，样品皿均为  $\text{Al}_2\text{O}_3$  坩埚。

1.6 X- 射线衍射实验：用日本理学公司的 D/max - RC 型旋转阳极铜靶衍射仪进行分析，实验条件：管压  $40\text{kV}$ ，管流  $80\text{mA}$ ，DS、SS 分别为  $1^\circ$ ，RC 为  $0.3\text{mm}$ ，用石墨单色器滤去  $\text{CuK}$  线，用软件进行  $\text{CuK}_2$  剥离。Ag - Si、AgAl - Si、Al - Si 电极烧结后逐层抛磨，逐层 X- 射线衍射，直至露出硅为止。

## 2 结果与讨论

2.1 银电极：银电极又称栅极或受光面电极<sup>[2]</sup>。用网状图案的目的是提高受光面积，电极复盖面允许占受光面积的  $8\% \sim 10\%$ 。Ag 电极是通过掺杂少量  $\text{M}$  族或过渡族元素，烧结而成。在理论上，掺杂元素与硅形成合金或金属间化合物，形成欧姆接触。作者进行了以上元素的掺杂试验，未发现与硅形成的合金相或金属间化合物。图 1 是银浆烧结在单晶硅片上的 X- 射线衍射的结果。图 1a 是低浓度掺杂，图 1b 是高浓度掺杂，不同浓度的元素 M 都未发现与硅形成合金或金属间化

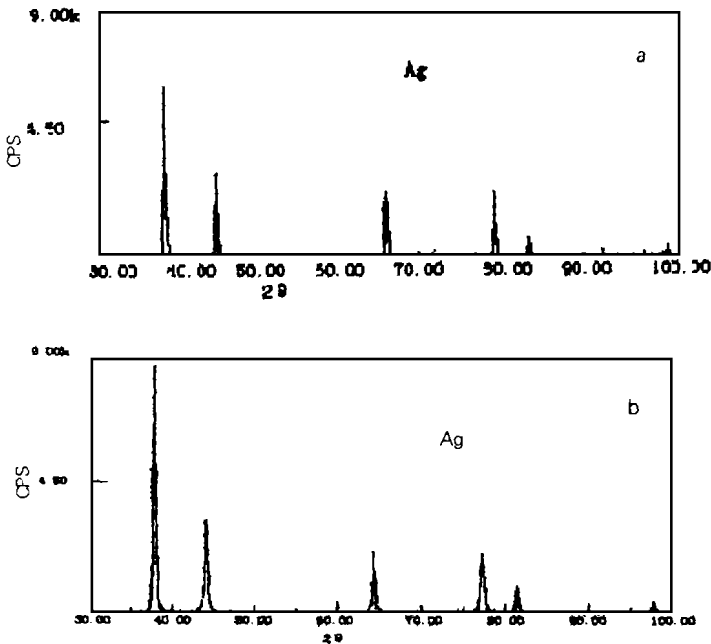


图 1 银电极的 X- 射线衍射图  
Fig. 1 The X - ray diffraction pattern of the silver electrode  
(a Ag<sub>a</sub>M, b Ag<sub>b</sub>M)

合物。金相观察只发现银与硅的界面有锯齿形花样出现。企图通过 X- 射线衍射分析硅与掺杂元素 M 形成合金或金属间化合物是很困难的。通过计算单晶硅及烧结银浆后硅的点阵参数变化，判断单晶硅烧结前后的界面状态。计算依据，单晶硅属立方晶系，晶面间距  $d_{hkl}$  与晶面指数 (hkl) 的关系：

因为:  $d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + L^2}}$  所以:  $a = \sqrt{h^2 + k^2 + L^2} d_{hkl}$

对于(400)晶面,  $h = 4, k = L = 0, a = 4 d_{hkl}$ ,  $d$ 为实验值, 计算结果列于表1中。

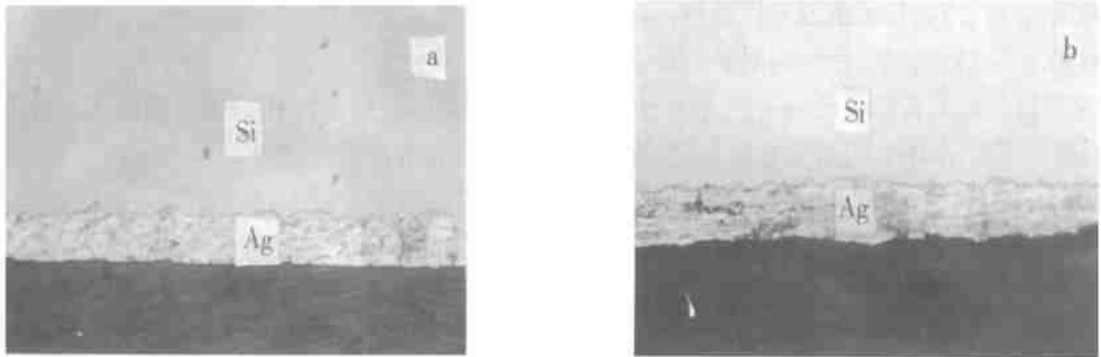


图2 不同掺杂元素量的银电极金相 (300 ×)

Fig. 2 The metallography of the silver electrode containing the different added elements

(a Ag<sub>a</sub>M, b Ag<sub>b</sub>M)

表1 不同掺杂浓度的单晶硅点阵参数

Tab. 1 The structure parameters of the monocrystalline silicon with the different content of added elements

样 品	晶面 (hkl)	晶面间距 (nm)	点阵参数 (nm)
Ag <sub>a</sub> 与单晶硅	(400)	0.135 7	0.542 8
Ag <sub>b</sub> 与单晶硅	(400)	0.135 6	0.542 4
单晶硅	(400)	0.135 5	0.542 0

从表中结果知道, 单晶硅与 Ag<sub>a</sub>、Ag<sub>b</sub> 比较, 单晶硅点阵参数小些, 这是掺杂引起的。点阵参数的微小变化, 消除了银与硅之间的界面势垒, 形成了欧姆接触。在文献[2]中, 掺杂时出现敏锐的衍射峰。掺杂元素 M 可以是 P、As、Sb、Bi、Ni、Sn、Ti、Ge、Pb、Zn、Cd、Ag、Au、Hg、Pd 等, 选择范围很广。通过差热分析发现(图3)在294 有有机物燃烧放热。在480 处有吸热峰, 比生产线低约 50 , 吸热峰温度与掺杂元素 M 有关, 作者认为是合金或金属间化合物形成吸热。TG-DTA 的特征温度与元素 M 有关, 在工艺上往往是多种元素按不同比例混合而成。

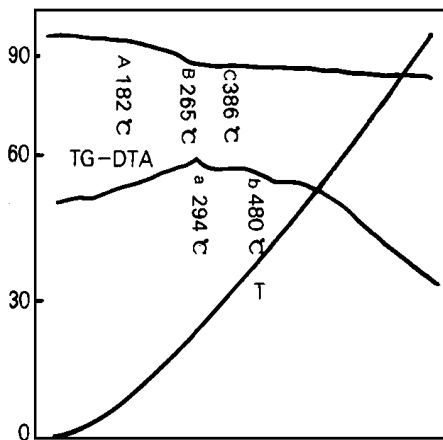


图3 银电极的 TG- DTA 曲线

Fig. 3 The TG- DTA curve of silver electrode

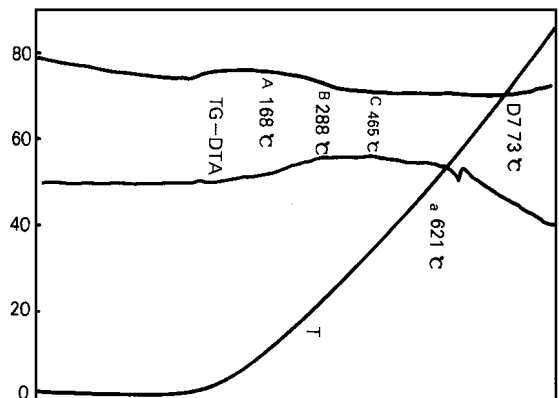


图4 铝电极的 TG- DTA 曲线

Fig. 4 The TG- DTA curve of Al electrode

2.2 铝电极：单晶硅太阳能电池背场印烧了铝电极<sup>[3]</sup>。铝与硅容易形成合金，图4是铝电极的 TG - DTA 分析结果，在 621 有吸热峰，比生产上实际烧结温度低 30 。通过 X - 射线衍射分析(图 5),发现  $Al_{3.21}Si_{0.47}$  的铝硅合金，这样消除了硅铝界面的肖特基势垒，使硅铝间呈欧姆接触。

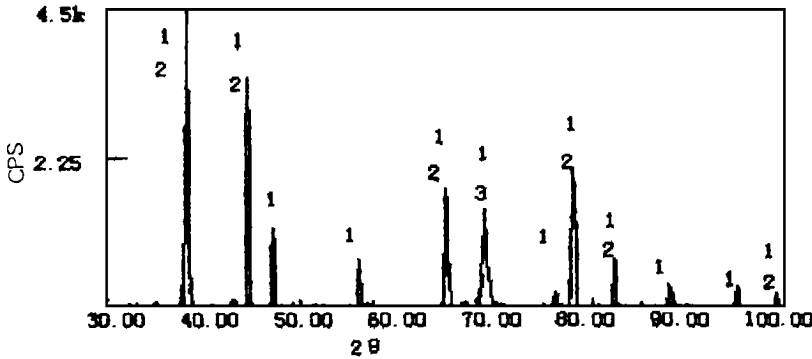


图5 铝电极的 X - 射线衍射图

Fig. 5 The X - ray diffraction spectroscopy of Al electrode

(1  $Al_{3.21}$ 、 $Si_{0.47}$ , 2  $Al$ , 3  $Si$ )

2.3 银铝电极：由于铝电极不能铅锡浆载流焊，因而在背场同时印烧了银铝电极，除了要求硅铝间呈欧姆接触外，必须铝锡浆载流焊<sup>[4]</sup>。有些工艺不用铝电极，仅用银铝电极，为了降低成本，电极设计成网状。用 TG - DTA 分析发现(图 6)，在 316 有放热峰，铝电极无此现象，可以认为是  $AgAl$  合金的生成热。在 542 有吸热现象，比铝电极低约 80 ，与银存在有关。可以理解人们采用比铝电极高出数倍价格的银铝电极了。图 7 是银铝电极的 X - 射线衍射结果。证明经烧结后生成了  $Ag_2Al$ 、 $Al_{3.21}Si_{0.47}$  及  $AlSi$  等。图 8 是银铝电极的金相照片，在界面有硅、黑色层及  $AgAl$  合金存在。在硅与银铝之间的黑色层正是作者所希望的，X - 射线衍射证明它们是  $AlSi$ 、 $Al_{3.21}Si_{0.47}$  合金，使硅与电极呈欧姆接触。3 种电极由于有机物燃烧失重。

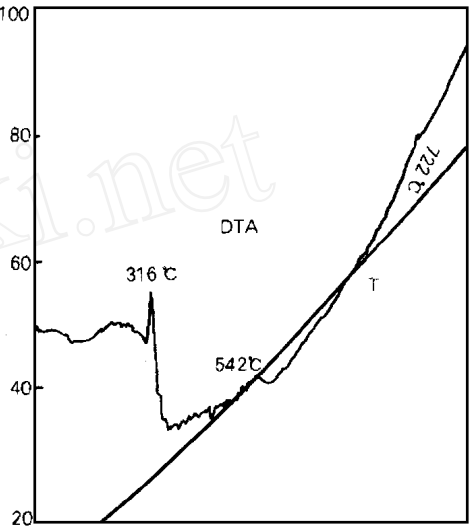


图6 银铝电极的 DTA 曲线

Fig. 6 The DTA curve of Ag - Al electrode

2.4 电池性能：印烧了银浆、铝浆(或银铝浆)的单晶硅，它就是已具有光伏特性的太阳能电池，当受光面(银电极)受阳光照射，光能转换为电能时，电池即有电流、电压输出<sup>[5]</sup>。作者用晶体管特性仪定性测定 I - V 特性，结果见图 9。如果 OA 与 y(I) 轴平行，电极与硅呈最佳欧姆接触，串联电阻为最小值；当 OA 与 y(I) 轴成夹角，欧姆接触不良，串联电阻偏大，电池光电转换效率偏小。串联电阻与电极浆料密切相关。当 OB 与 x(V) 轴平行，并联电阻达最大值；当 OB 与 x(V) 轴成夹角，并联电阻偏小，电池在使用过程中 P - N 结易击穿。并联电阻除与硅杂质扩散、切削、等离子腐蚀等有关外，与电极浆料也有关<sup>[5]</sup>。串联电阻、并联电阻为最佳值时，电池短路电流 > 2 600mA、开路电压 > 610mV、并联电阻 > 15  $\Omega$ 、串联电阻 < 0.020  $\Omega$ 、填充因子 > 75 %，光电转换效率 > 15 %。

### 3 结 论

通过样品横断面金相观察，TG - DTA 及 X - 射线衍射分析，包括计算样品的点阵参数，证明单晶硅与银浆、铝浆(银铝浆)在烧结过程中形成合金，消除硅与电极间的肖特基势垒，使电极与硅形成欧姆接触。

刘雄教授、赵万春同志提供 TG - DTA 分析数据，特此表示致谢！

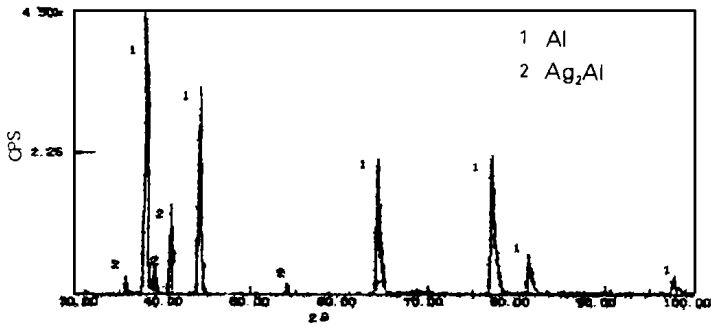


图7 银铝电极的 X-射线衍射图

Fig. 7 The X-ray diffraction spectroscopy of Ag - Al electrode

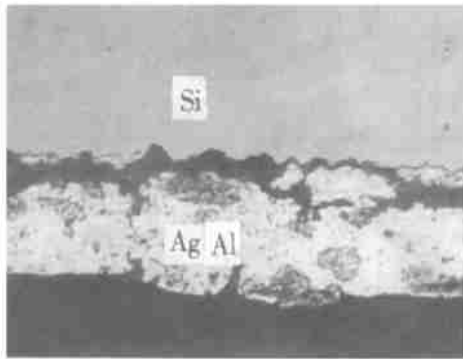


图8 银铝电极的金相照片 (300 ×)

Fig. 8 The metallography of Ag - Al electrode

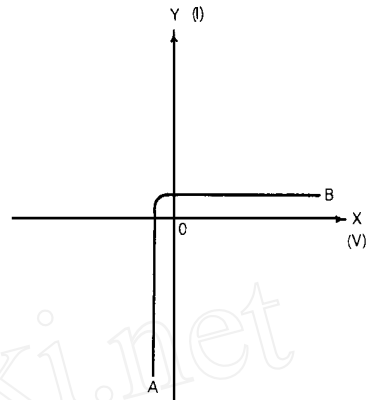


图9 硅太阳能电池的 I - V 特性示意图

Fig. 9 The I - V characteristic of the silicon solar cell

## 参考文献

- [1] 陈克铭等. 金属 - n 型 GaAs 界面物理特性研究 [J]. 半导体学报, 1982, 3 (10): 31 ~ 43.
- [2] 赵玲, 谭富彬等. 太阳能电池用银导体浆料的研究 [J]. 电子元件与材料, 1996, 15 (3): 13 ~ 16.
- [3] 谭富彬, 赵玲, 刘林等. 具有欧姆接触特性 PTC 热敏电阻用电极浆料 [C]. 贵金属 (增刊), 1997, 455 ~ 458.
- [4] SV1415324, SU1415233
- [5] 汪义川, 陈庭金. 太阳能电池电极工艺对其并联电阻和影响 [J]. 云南师范大学学报, 1991, 15 (10): 44 ~ 48.